科学読本

音とオーディオ(4)

平田能睦

4章（その3）：音質の評価

スペクトル分布のような周波数特性では表わすことができない，物理的にはわずかな差であっても聴感上で識別できる音の特徴を，ここでは音質と呼ぶことにします．

楽器もオーディオ機器も，この音質のよし悪しでその評価が決まります．音質はどのように評価されるのでしょうか．個性豊かな音質でいまでも聴く人を魅了する真空管アンプの実例から，物理的にはわずかな差であるひずみと音質の関係を調べてみましょう．

代表的な真空管アンプ――ここでは(A)(B)(C)としておきましょう――の入出力電圧非直線特性を，非対称パルスを用いて測定し，これに基づいてひずみを10倍ほど拡大すると，それぞれ特徴ある形になりました．出力電圧1Vから10Vでひずみの量は少ないものでは0.1%前後，多いものは2%前後です．(A)は典型的なクロスオーバひずみ，(B)は逆S形特性，(C)はひずみの少ない直線に近い特性です．

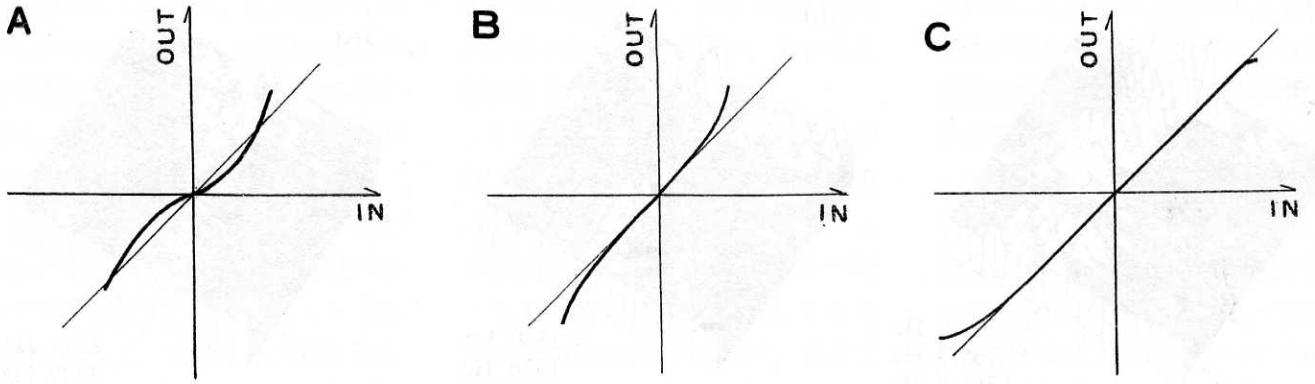
レコード音楽の再生による音質評価は，(A)はソフト，ツヤッぽい，弱音で少しがさつく音，(B)は力強い，透明感があり，小音量でも繊細な音，(C)は透明，力強い，アタックがしっかり決まる現代風の音，等々です．硬めで透明なトランジスタ・アンプに比べると，やわらかで暖かく味つけされた音が真空管アンプの特徴です．この点で，ダンピング・ファクタの大きさも音質に関係しているようです．

オーディオ機器とは違い，ある入力信号を加えたときの出力信号の変化を調べるということが楽器ではできません．ストラディヴァリの名器がなぜほかのヴァイオリンより音質がよいとされるのか，科学的な説明が難しい理由の一つは，そこにあります．しかし，耳は両者の音質を苦もなく評価することができます．

とはいえ，科学的に見ると，楽器とオーディオ機器の音質評価には大きな違いがあります．前者では発生する音の全体を評価するのに対して，後者では信号の経路のある部分を評価します．

パワー・アンプであれば，入力信号であるレコード音楽の音質とスピーカの音質を含まないように音質を評価します．あるパワー・アンプを他のものと比較する相対的な評価としては差がわかればよいのですが，それぞれがどのような音質を持っているかという絶対的評価をするには，耳を訓練する必要があります．

物理測定であれば，未知の値を含む測定値から真の値を推定する，一種のブラインド問題に取り組んでいるのがオーディオ機器の音質評価です．音質評価ではさまざまな用語が使われています．無色透明，澄んだ，にごった，鮮明，なめらか，粗い，



〈第4・6図〉真空管アンプの入出力電圧特性．非直線ひずみを約10倍に拡大して示したもの．(A)はクロスオーバひずみ，(B)は逆S形，(C)は直線に近い特性．このような特性により再生音の音質が変化する

周波数分析し，そのスペクトルが時間の経過とともにどのように変化するかを3次元的に表わすと，基音，2倍音，3倍音，……，6倍音まで見て取ることができますが，音の初めの打音の部分では倍音以外にたくさんの周波数成分が生じているのがわかります．

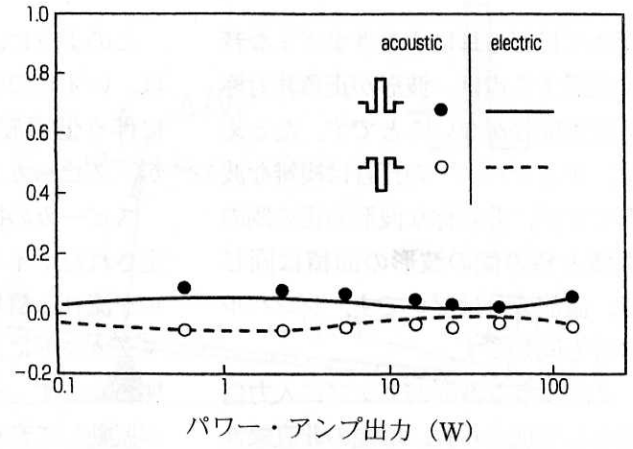
余韻の部分に注目してみましょう．ハンマーで打たれて強制的な振動をしたあと，弦が自由に振動しながら減衰するときに発生する音が余韻です．この自由振動のエネルギーは指数関数的になめらかに減少しますが，弦の振動の姿（モード）は複雑に変化していることがスペクトルの変動からわかります．

基音は弦の全体が同じ方向に動く振動によって発生し，2倍音は弦を2分割する振動，3倍音は3分割する振動によって発生します．そこでスペクトルを見ると，基音や倍音の周波数成分は減衰する過程で大きくなったり小さくなったり変動しています．2倍音が大きくなると基音が小さくなり，という具合です．このことから弦の振動はとても複雑に変化していることがわかります．このような弦の複雑な振動によって発生する音がピアノの音を特徴付けています．

ここでさらにくわしく調べるために，基音と2倍音，3倍音の周波数軸を拡大してみると，拡大図から何がわかるでしょうか．余韻の部分で周波数がゆらいでいます．このゆらぎは，余韻が小さくなるにつれて増加する傾向があるようです．

ギターの開放弦で発生させた音の場合，余韻の減衰に伴う周波数のゆらぎの増加はピアノの場合よりもはるかに大きく，注意すれば聴き取ることができるでしょう．

ピアノは，大部分の音が2本あるいは3本の弦をハンマーでたたいて出すように作られています．弦を複数にすることは音量を増大するのに役立ちますが，2本あるいは3本の弦の振動周波数にはわずかな違いがあります．ミス・チューニングというこのわずかな周波数の不一致が，実はピアノの音をより好ましいものにしているといわれています．



〈第4・9図〉非対称パルスを用いて測定したパワー・アンプのひずみ．実線と破線はアンプ出力信号を直接測定したもの．●と○はアンプに接続したスピーカの音を使って測定したもの（JAES 29(4) 1981）

それにしても，このような複雑な音をすべて電子回路で発生させるとするなら，装置は巨大なものになり，商品化は不可能でしょう．電子楽器のピアノの音はそれ相応の音として聴くなら，楽しむことができます．

アンプの音の違いを聴き分けられるのはなぜか

増幅器/アンプに比べて1桁以上ひずみの多いスピーカでアンプの音の違いを聴き分けられるのは，なぜでしょうか．アンプに音の違いがあるのですか，という人もいれば，スピーカの音でアンプの音の違いを聴き分けられるはずがない，という人もいます．

それはともかく，アンプには音の違いがあり，ほとんどの人はその違いを聴き分けることができます．ふさわしいシステムを用いてアンプだけを入れ換え音楽を再生してみると，その違いがわかるので，ここでオーディオに目覚める人もいます．

もっとも，その違いを表現するとなると，それはコーヒーの味について語るより難しいかもしれません．専門家はそのような音の違いを巧みにいい表わしてくれるので，そうした評論を楽しむのもよいでしょう．

周波数特性は十分に平坦で全調波ひずみ率は0.15%とか0.05%というアンプに対して，スピーカのひずみ率は数%にもなり，周波数特性も平坦ではありません．これだけで判断すると，アンプの音質評価は濁った水に澄んだ水を垂らしてその透明度を調べるようなものだ，といわれてもやむを得ないでしょう．

確かに高調波ひずみの測定に用いる正弦波で音質評価はできません．評価に使うのは音楽です．周波数特性が20 Hzから20 kHzまでフラットであるとすれば，アンプの音質の違いはその非直線特性によって生じるものです．増幅された出力が入力の変化に完全に対応して変化するなら，増幅によって再生音の音質が変わることはありませんが，非直線特性があると，入力信号にない変化が出力信号に加わり，これが再生音の音質変化として捕らえられることになります．

リスニング・テストを別とすれば，音質変化はスペクトルの変化で見るのがわかりやすいのですが，音楽信号をそのまま用いるとスペクトルが複雑で判断できません．

オシロスコープで見ると，音楽を

ずみを測定するのです．結果はどうなったでしょうか．アンプの出力から直接求めたひずみと一致しました．アンプの音の違いをスピーカ再生音によって聴き分けるということを実験によっても証明することができました．

オーディオに関する懐疑的な批判は，こうして完全に払拭されました．いまから30年も前のことになります（Wireless World Oct. 1981. JAES 29(4) 1981）．

4章のキー・ワードの説明

●非対称波形

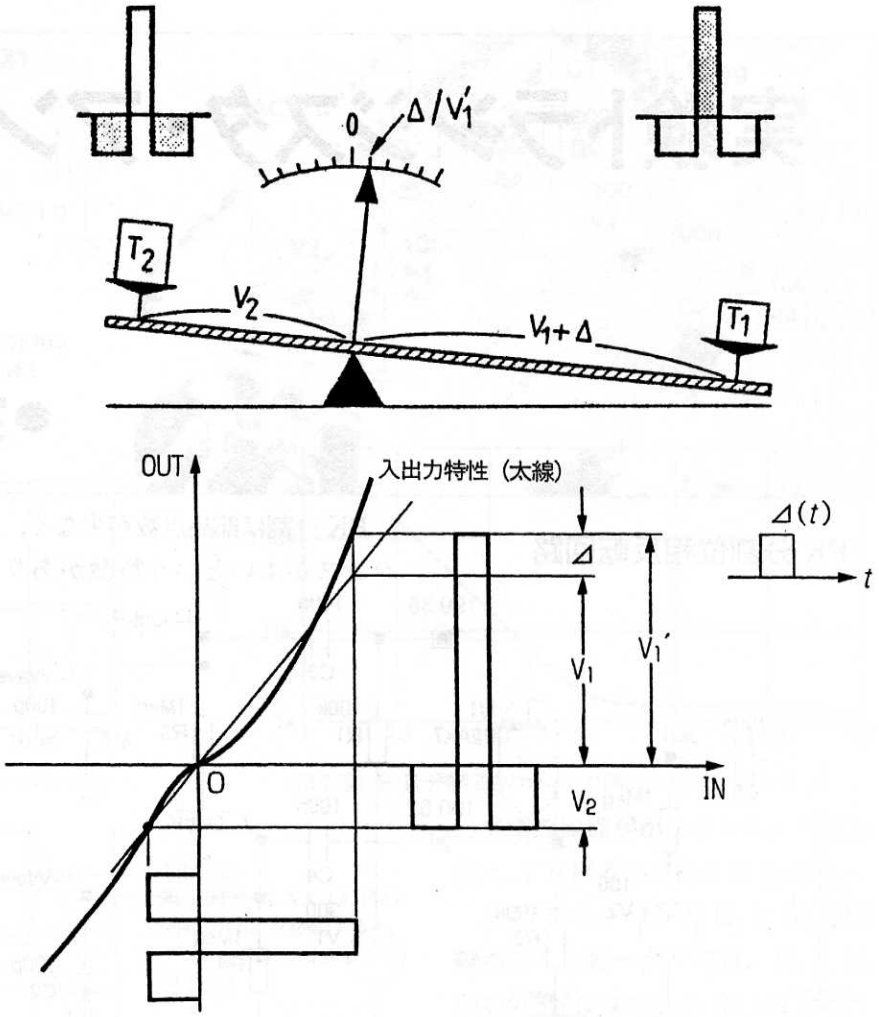
ゴム風船の破裂音を無響室で聴くと，パーンではなくパッと聴こえます．室内でパーンと音がのびるのは反射音があるからです．

このパッという直接音を無響室で録音して，その波形を再生して見ると，非対称で複雑な形をしています．このような波形を理論的に取り扱いやすいモデル波形で表わせば，増幅器の非直線特性によって生じる波形の変化（歪）がスペクトル変化としてどのように現れるか，理論的に表わすことができます．電気信号の正弦波は対称的な波形であり，自然な音の波形は非対称的です．

●非直線ひずみ計

つり合いを利用して重さを測る天秤/てんびんは古代から知られていますが，現在の天秤の原型は18世紀に完成しました．電気の分野で天秤を用いた装置にレイリーの電流天秤があります．ホイートストン・ブリッジは，天秤は用いませんが，電圧のつり合いで抵抗の大きさを測定するものです．

非直線ひずみ計は直流成分の吊り合いを利用します．正負の直流成分が吊り合った非対称なパルス波形を増幅器の入力に加えると，入出力特性の非直線性によって直流の吊り合いが崩れ，出力に直流成分とこれに伴う低周波数成分が発生します．この低周波数成分の大きさを測定することによって，増幅器の非直線特性を知ることができます．



〈第4・11図〉吊り合いを利用した非直線ひずみ形の原理（上）と入出力特性によってバランスがくずれる様子

●アナログの音，デジタルの音

アナログ録音からデジタル録音へ音の記録方式が移行するころ，磁気テープによる波形記録の欠点であったヒステレシス・ノイズがPCM録音により解消されたことは誰の耳にも明らかでしたが，音質に関してはかならずしもアナログ録音よりよいとはいえない，という人は少なくありませんでした．そうした人たちはどんな違いを聴き取っていたのでしょうか．

当時のテープレコーダとPCMプロセッサ（PCM入出力変換装置）の非直線ひずみを測定してみると，耳が問題点をよく捕えていたことがわかります（Wireless World Dec. 1982）．

実験した製品は，テープレコーダ（38 cm/s，19 cm/s，4.5 cm/s）3機種，PCMプロセッサ（16ビット，14ビット，12ビット）の4機種です．アナログ・テープレコーダに共通するソフト・ディストーション，“やわらかい”音に対して，デジタルはよいもの，悪いもの，鮮明，刺激的，とさまざまでした．現在のデジタルの音は当時とは比べものにならないほどよい音になっています．